

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-197543

(43)公開日 平成10年(1998) 7月31日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 1 P 3/36

G 0 1 P 3/36

C

G 0 1 S 11/12

G 0 1 S 11/00

B

G 0 6 T 1/00

G 0 6 F 15/62

3 8 5

7/00

4 1 5

7/20

15/70

4 1 0

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平9-3116

(22)出願日

平成9年(1997) 1月10日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 大塚 和弘

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 堀越 力

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 鈴木 智

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

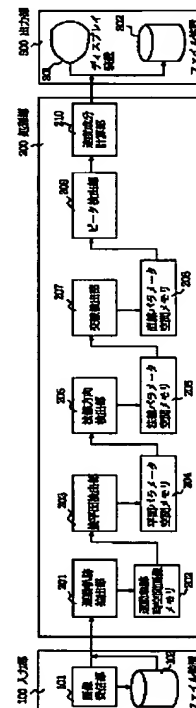
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 時系列画像動き計測方法および装置

(57)【要約】

【課題】 任意の画像領域および時間範囲をもつ複数フレームの時系列画像から、画像中の対象物体の最も優勢な速度成分を対象物体の生成、消滅、隠蔽（オクルージョン）や形状や濃淡変化などの不安定要素に対してロバストに計算する。

【解決手段】 運動軌跡抽出部201で時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、そのフレーム間の濃度値の差分を時間方向に積層して得られる時空間画像として、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡を求める。平面検出部203で運動軌跡の接平面を検出し、法線方向検出部205で接平面の法線方向の分布を求め、交線検出部207で複数の接平面がつくる交線の方向を求める。ピーク検出部209で最も顕著な交線の方向を決定し、速度成分計算部210で、その交線と画像平面とのなす角より速度の大きさを求め、交線を画像平面に射影して得られる直線方向から顕著な動きの方向を決定する。



Expresshair En 505/10678905

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 時系列画像の濃度値の変化より、時系列画像中の対象物体の見かけの動きを計測する時系列画像動き計測方法であって、

時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡の接平面を検出し、それらがつくる交線の方から対象物体の速度成分を求める時系列画像動き計測方法。

【請求項2】 時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡を、時系列画像の画像フレーム間の濃度値の差分画像を時間方向に積層した時空間画像中に構築する、請求項1記載の時系列画像動き計測方法。

【請求項3】 時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡の接平面を、前記構築されたフレーム間の濃度値の差分画像を時間方向に積層した時空間画像に含まれる画素の集合がつくる部分平面として検出する、請求項2記載の時系列画像動き計測方法。

【請求項4】 時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡の接平面がつくり得る全ての交線の内で最も顕著な交線の方を一つ選択し、対象物体のもつ最も優勢な速度を求める、請求項1記載の時系列画像動き計測方法。

【請求項5】 時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡の接平面の強さを、前記構築された時空間画像において、接平面が通る画素の濃度値の和または画素数として、接平面の交線の強さを、交線のつくる接平面の強さの和とし、最も顕著な交線の方を一つ選択し、対象物体のもつ最も優勢な速度を求める、請求項2または4記載の時系列画像動き計測方法。

【請求項6】 時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡の接平面がつくる交線の方を求め、その交線と画像平面とのなす角度より対象物体の速度の大きさを求め、交線を画像平面に射影して得られる直線の方から、対象物体の動きの方を決定する、請求項1から5のいずれか1項記載の時系列画像動き計測方法。

【請求項7】 時系列画像の濃度値の変化より、時系列画像中の対象物体の見かけの動きを計測する時系列画像動き計測装置であって、時系列画像として入力される複数フレームの画像の任意の画像領域内および任意の時間範囲内の画像濃度値を記

憶する画像濃度値記憶手段と、

運動軌跡時空間画像記憶手段と、

前記画像濃度値記憶手段に記憶されている時系列画像中において、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡を時空間画像中の画素の集合として前記運動軌跡時空間画像記憶手段に記憶する運動軌跡抽出手段と、

3次元配列状の平面パラメータ空間記憶手段と、

前記運動軌跡時空間画像記憶手段において得られた時空間画像において、運動軌跡の接平面の分布を、3次元平面を極座標表示したときの3つのパラメータの関数として前記平面パラメータ空間記憶手段に記憶する接平面検出手段と、

2次元配列状の法線パラメータ空間記憶手段と、

前記平面パラメータ空間記憶手段に得られた平面パラメータ空間を、法線方向を表す2つのパラメータを軸とする平面に投影したときの分布を前記法線パラメータ空間記憶手段に記憶する法線方向検出手段と、

2次元配列状の直線パラメータ空間記憶手段と、

前記法線パラメータ空間記憶手段に得られた法線パラメータ空間において、異なる法線方向をもつ複数の接平面がつくる交線の方の分布を、その交線の方を2つのパラメータの関数として前記直線パラメータ空間記憶手段に記憶する交線検出手段と、前記直線パラメータ空間記憶手段に得られた直線パラメータ空間から、対象物体の速度成分の大きさと方向を計算する速度推定手段とを有する時系列画像動き計測装置。

【請求項8】 前記運動軌跡抽出手段として、前記画像濃度値記憶手段に記憶されている複数フレームの画像のフレーム間において濃度値の差分を計算し、これを時間方向に積み重ねてできる時空間画像を前記運動軌跡時空間画像記憶手段に記憶するフレーム間差分計算手段を用いる、請求項7記載の装置。

【請求項9】 前記接平面検出手段は、3つのパラメータを軸とした3次元空間を微小間隔で離散化し、3次元の配列として前記平面パラメータ空間記憶手段上に構築し、時空間画像中の全ての画素について、各画素を通り得る全ての平面に対応する平面パラメータ空間記憶手段の配列の要素に投票を行なう、請求項7または8記載の装置。

【請求項10】 前記交線検出手段は、前記2つのパラメータのパラメータ空間を微小間隔で離散化し、2次元の配列として前記直線パラメータ空間記憶手段に構築し、前記法線パラメータ空間中の各点について、その点が表わす平面に含まれ得る直線の方のパラメータを計算し、その値が含まれる前記直線パラメータ空間記憶手段の要素に投票を行なう、請求項7から9のいずれか1項記載の装置。

【請求項11】 前記速度推定手段は、前記直線パラメ

ータ空間を入力として、この空間中でピークを示すパラメータ値として、移動する対象物体の輪郭またはエッジが時空間中につくる運動軌跡の接平面の交線の中で最も顕著な交線の方角を検出するピーク検出手段と、前記ピーク検出手段より得られた交線の方角から、その交線と画像平面とのなす角度より対象物体の速度の大きさを求め、交線を画像平面に射影して得られる直線の方角から、対象物体の動きの方角を決定する速度成分計算手段とを有する、請求項7から10のいずれか1項記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術】本発明は、ビデオカメラや気象レーダー装置やリモートセンシングなどにより得られる時系列画像の濃度値の変化より、時系列画像中の対象物体の動きを計測する時系列画像動き計測方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】人、交通などの監視や製造工程の制御、気象などの自然現象の解明や予測への応用などにおいて、時系列画像の認識処理を用いた高度化、効率化が望まれている。

【0003】時系列画像から対象物体の動きを計測する従来の方法として、画像の2フレーム間の濃度値の相互相関値を用いた相互相関法と呼ばれる手法が代表的な方法

$$\sigma_{k,l} = \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B R_1(i,j) R_2(i+k,j+l) - AB \overline{R_1} \overline{R_2}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B R_1(i,j)^2 - AB \overline{R_1}^2)(\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B R_2(i,j)^2 - AB \overline{R_2}^2)}} \dots (1)$$

$$\overline{R_1} = \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B R_1(i,j)}{AB} \dots (2)$$

$$\overline{R_2} = \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B R_2(i+k,j+l)}{AB} \dots (3)$$

上述の計算によって求められた相互相関値は、例えば、図11に示すようになる。そこで、格子点上にある相互相関値の最大値をとる点(K, L)での相互相関値

【0007】

【外1】

$\sigma_{K,L}$

およびその近傍の4点の相互相関値

【0008】

$$k' = \frac{\sigma_{-x} - \sigma_{+x}}{2(\sigma_{-x} - 2\sigma_{K,L} + \sigma_{+x})} \dots (4)$$

$$l' = \frac{\sigma_{-y} - \sigma_{+y}}{2(\sigma_{-y} - 2\sigma_{K,L} + \sigma_{+y})} \dots (5)$$

以上より、2枚の画像 $R_1$ ,  $R_2$ は $(K+k', L+l')$ だけずらした場合に相互相関値が最大となる。このことから、対象物体の速度成分は次の式(6)、式(7)より求めることができる。ただし、 $V_x$ ,  $V_y$

として広く知られている。一例として、文献[1]遊馬芳雄、菊池勝弘、今久：“簡易気象レーダーによるエコーの移動速度について”、北海道大学地球物理学研究報告、Vol. 44, October, 1984, pp. 35-51. では、この相互相関法を時系列画像の一種である気象レーダー画像に適用し、画像中のレーダーエコーの速度成分を求めている。

【0004】この方法は、ある任意の時間間隔 $\Delta T$ において計測された2枚の画像を用いて、一方をずらしながら、画像濃度値の相関値を計算し、最も高い相関値を示すずれを2つのフレーム間の降水域の移動量とし、この移動量と計測時間間隔 $\Delta T$ から速度成分を計算している。

【0005】具体的には、図10に示すように、時間間隔 $\Delta t$ において計測された2枚の画像 $R_1$ ,  $R_2$ から、次式により相互相関値を求める。ただし、画像上の格子点 $(i, j)$ における画像の濃度値を各々 $R_1(i, j)$ ,  $R_2(i, j)$ 、相関をとる領域を $(A, B)$ 、相関値を計算する際の2枚の画像 $R_1$ ,  $R_2$ のズレを $(k, l)$ とする(図10中、斜線は相関値をとる範囲を示し、中央の太線の矢印は対象物体の移動方向を表す)。

【0006】

【数1】

【外2】

$\sigma_{-x}, \sigma_{+x}, \sigma_{-y}, \sigma_{+y}$

に対して二次関数による補間を行い、補間の結果相互相関値が最大となる点(格子点とは限らない)とのずれ $(k', l')$ を次式により求める(図12参照、ただし、X成分のみを示す)。

【0009】

【数2】

は、それぞれ移動量のx成分、y成分を示す。

【0010】

【数3】

$$V_x = \frac{(K + k')\Delta x}{\Delta t} \quad \dots (6)$$

$$V_y = \frac{(L + l')\Delta y}{\Delta t} \quad \dots (7)$$

この速度成分を 2 枚の画像  $R_1$ ,  $R_2$  の計測時間間隔  $\Delta t$  で割ったものが、移動速度の  $x$  成分、 $y$  成分を表す。

【0011】しかし、文献 [1] が対象としている気象レーダー画像中のエコーパターンのような自然現象や実世界の対象においては、対象物体の生成や消滅、隠蔽（オクルージョン）、変形などが頻繁に生じており、相互相関法のような 2 フレーム間のマッチングを基本とする方法ではフレーム間での対応が不安定になり、対象物体の速度成分を正確に求めることが困難であった。

【0012】また、時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内における最も優勢な速度成分を求めるといふ動き情報の統合の問題に際しては、2 フレーム間の結果を時間平均、空間平均するような従来方法では、生成や消滅、隠蔽（オクルージョン）などの悪影響を含めた平均化された速度成分しか求めることができないという問題があった。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】相互相関法のような 2 フレーム間でのマッチングを基本とし、時系列画像から対象物体の速度成分を求める方法では、対象物体の生成、消滅、隠蔽（オクルージョン）や、形状や濃淡値の時間変化がある場合、対象物体の速度成分が安定かつ正確に求められないという問題がある。また、任意の画像領域内および時間範囲内の動き情報を統合し、時間内で最も優勢な速度成分を求める目的に対しては、2 フレーム間で計算された速度成分に基づく方法では、対象の生成、消滅、隠蔽（オクルージョン）などの悪影響を含む平均化された速度成分しか計算ができないという問題があった。

【0014】本発明の目的は、任意の画像領域および時間範囲をもつ複数のフレームの時系列画像から、画像中の対象の最も優勢な速度成分を対象の生成、消滅、隠蔽（オクルージョン）や形状や濃淡変化等の不安定要素に対してロバストに計算する時系列画像動き計測方法および装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の時系列画像動き計測方法は、時系列画像中の任意の画像領域内および時間範囲内について、移動する対象物体の輪郭およびこのエッジが時空間画像中に描く運動軌跡の接平面を検出し、それらがつくる交線方向から対象物体の速度成分を求める。

【0016】また、本発明の時系列画像動き計測装置は、時系列画像として入力される複数フレームの画像の任意の画像領域内および任意の時間範囲内の画像濃度値

を記憶する画像濃度値記憶手段と、運動軌跡時空間画像記憶手段と、前記画像濃度値記憶手段に記憶されている時系列画像中において、移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡を時空間画像中の画素の集合として前記運動軌跡時空間画像記憶手段に記憶する運動軌跡抽出手段と、3次元配列状の平面パラメータ空間記憶手段と、前記運動軌跡時空間画像記憶手段において得られた時空間画像において、運動軌跡の接平面の分布を、3次元平面を極座標表示したときの 3 つのパラメータの関数として前記平面パラメータ空間記憶手段に記憶する接平面検出手段と、2次元配列状の法線パラメータ空間記憶手段と、前記平面パラメータ空間記憶手段に得られた平面パラメータ空間を、法線方向を表す 2 つのパラメータを軸とする平面に投影したときの分布を前記法線パラメータ空間記憶手段に記憶する法線方向検出手段と、2次元配列状の直線パラメータ空間記憶手段と、前記法線パラメータ空間記憶手段に得られた法線パラメータ空間において、複数の異なる法線方向をもつ接平面がつくる交線方向の分布を、その交線方向を 2 つのパラメータの関数として前記直線パラメータ空間記憶手段に記憶する交線検出手段と、前記直線パラメータ空間記憶手段に得られた直線パラメータ空間から、対象物体の速度成分の大きさと方向を計算する速度推定手段とを有する。

【0017】従来の相互相関法では時系列画像の 2 フレーム間の動きのみを検出するのに対し、本発明では任意の画像領域内および時間範囲内を一かたまりとして考えることにより、速度成分の検出と同時に多フレームの画像中の動き情報の統合が可能となる。

【0018】また、本発明では、運動軌跡抽出手段によりフレーム間差分をとることにより、対象物体の動きがフレーム間での画像濃度値の変化として検出され、対象物体の輪郭およびエッジが差分画像に現れる。この差分画像を時間方向に積層することにより、対象物体の移動による動き成分を輪郭およびエッジに沿って連なる運動軌跡として時空間差分画像中に構成させることができる。

【0019】また、対象物体に生成、消滅や隠蔽などが生じる場合などでは、従来の相互相関法など 2 フレーム間のマッチングを基本とする技術ではフレーム間の対応を探索することが困難となるが、本発明では接平面検出手段により運動軌跡の接平面を検出し、複数の接平面がつくる交線方向に基づき速度成分を決定しているため、安定した並進成分の計算が可能となる。

【0020】法線方向検出手段では接平面検出手段によ

り得られた平面パラメータ空間から接平面の法線パラメータのみを抽出した法線パラメータ空間への変換を行っている。そのため、任意の画像領域、時間領域の時系列画像をその中で時間や位置に依存しない速度成分（方向と速度）のみを情報に集約することができる。そのため、一部の対象物体が生成、消滅したりする場合にも、互いに動き情報を補うことができるようになり、安定した速度成分を求めることが可能となる。

【0021】交線検出手段では法線方向検出手段により得られた法線パラメータ空間を用い、運動軌跡の接平面がつくる交線の強度分布を直線パラメータ空間中に構築する。この空間中の分布のピークを求めることが、接平面のつくる顕著な交線の方法を求めることを意味し、対象となる時系列画像に含まれる対象物体の動きの方向、速度を求めることになる。

【0022】速度推定手段を構成するピーク検出手段では交線検出手段により得られた直線パラメータ空間内のピークを検出している。そのため、対象時空間に含まれる対象物体の最も優勢な速度成分のみを抽出することが可能となる。直線パラメータ空間中に鋭いピークが立つ場合、時空間画像中の複数の強度が大きい接平面が交線を作っていることを意味し、図4で示したように、その交線の方法が対象物体の時空間領域での運動軌跡を表す。

【0023】画像濃度値記憶手段から速度推定手段までを逐次実行することにより、本発明の目的である時系列画像中の任意の時間範囲内および画像領域内に含まれる対象物体の最も優勢な速度成分を対象物体の生成、消滅、隠蔽、変形などの影響を受けずに、安定かつ正確に計算することが可能となる。

【0024】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0025】図1は本発明の一実施形態の時系列画像動き計測装置の構成図、図2はその処理を示すフローチャ

$$D(x, y, T-t) = \begin{cases} I(x, y, t+1) - I(x, y, t) & \text{if } I(x, y, t+1) - I(x, y, t) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

と計算できる。

【0031】ここで、対象物体の濃度値が背景の濃度値より高い場合、1次元の場合を例にとり、図3を用いて説明すると、フレーム間差分の正值をとるということは、移動する対象物体の前面部分から動きを検出するということを意味する。また、フレーム間差分を負値をとるということは、移動する対象物体の後面部分から動きを検出するということを意味する。フレーム間差分の絶対値をとるときは、対象物体の前面および後面部分から動きを検出するということを意味する。また、フレーム間の差分以外による方法も利用できる。

【0032】次に、接平面検出部203は運動軌跡抽出

ートである。

【0026】本実施形態の時系列画像動き計測装置は入力部100と処理部200と出力部300で構成されている。

【0027】入力部100は、時系列画像を外部より入力する画像受信部101と、画像受信部101で受信した画像（任意の画像領域内および任意の時間範囲内の画像濃度値）を蓄積し（ステップ401）、処理部200からの要求に応じて画像を送送するファイル装置102からなる。処理部200は運動軌跡抽出部201と運動軌跡時空間画像メモリ202と接平面検出部203と平面パラメータ空間メモリ204と法線方向検出部205と法線パラメータ空間メモリ206と交線検出部207と直線パラメータ空間メモリ208とピーク検出部209と速度成分計算部210からなる。出力部300は、処理部200の出力である速度成分を表示するディスプレイ装置301と、処理部200の出力である速度成分を蓄積するファイル装置302からなる。

【0028】以下、処理部200の機能を説明する。

【0029】運動軌跡抽出部201は、入力部100で入力された時系列画像  $I(x, y, t)$  ( $x=1, 2, \dots, M; y=1, 2, \dots, N; t=1, 2, \dots, T+1$ ) ( $x, y$ は画像座標、 $t$ は時刻、 $M \times N$ は画像領域サイズ、 $T+1$ は画像フレーム数を示す) について、画像中の移動する対象物体の輪郭およびエッジが時空間中に描く運動軌跡を抽出するために、そのフレーム間の濃度値の差分を計算し、その正值または負値または絶対値を運動軌跡時空間画像メモリ202に格納する（ステップ402）。正值を用いる場合、運動軌跡時空間  $D(x, y, t)$  ( $x=1, 2, \dots, M; y=1, 2, \dots, N; t=1, 2, \dots, T$ ) は

【0030】

【数4】

部201により得られた運動軌跡時空間画像メモリ202が表す時空間画像を3次元空間と考え、この画像中に構成された運動軌跡の接平面の分布を、極座標表示したときの3次元平面のパラメータ  $(0, \phi, \rho)$  の関数  $S_p(\theta, \phi, \rho)$  として平面パラメータ空間メモリ204に記憶させる（ステップ403）。

【0033】具体的に一例を用いて説明すると、図4

(a)のように画像中を正方形の対象物体が移動するとき、これを図4(b)のように時空間領域でみると、対象物体の輪郭部の描く運動軌跡は時空間領域中において筒状をなす。実際には、この運動軌跡は運動軌跡抽出部201で求められた時空間画像中の画素の集合により表

現されている。このとき運動軌跡に接する接平面を考え、2つの接平面がつくる交線に着目すると、その方向は、この例では対象物体の頂点がつくる運動軌跡の方向と等しくなり、これから対象物体の速度が推定できる。さらに、複雑な形状をもつ対象物体についても、コーナーなどの特異点を除いた輪郭やエッジがつくる運動軌跡の接平面の交線の方角を求めることで、対象物体の速度

$$x_i \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi + y_i \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi + t_i \cdot \cos \phi = \rho \quad \dots (9)$$

$$0 \leq \theta < 2\pi \quad \dots (10)$$

$$0 \leq \phi \leq \pi/2 \quad \dots (11)$$

$$-\infty < \rho < \infty \quad \dots (12)$$

のように表現することができる。ただし、画像表面座標は  $(x, y)$ 、時間座標は  $t$  で表される。 $(\theta, \phi)$  は平面の法線方向、 $\rho$  は原点から平面までの最短距離を表す。式(9)から、3次元空間中の一点  $(x_i, y_i, z_i)$  は図6のような平面パラメータ空間中の一曲面に対応する。

【0036】ここでは、この平面の3つのパラメータ  $(\theta, \phi, \rho)$  を軸とした3次元空間を  $(\Delta\theta, \Delta\phi, \Delta\rho)$  の微小間隔で離散化し、3次元状の配列  $S_p$  として平面パラメータ空間メモリ204上に構築する。ここで、配列の要素をセルと呼ぶ。

【0037】次に、投票（ハフ変換とも呼ぶ）を用いて、運動軌跡時空間画像D中の運動軌跡の接平面の分布を平面パラメータ空間メモリ中の各セルの値として得る。具体的には、運動軌跡時空間画像D中の各画素  $(x_i, y_i, t_i)$  について、式(9)で表される平面パラメータ空間中の曲面を計算し、この曲面が通過する平面パラメータ空間メモリ中のセルの値を、画素D  $(x_i,$

$$S_N(\theta, \phi) = \max_{\rho} S_P(\theta, \phi, \rho)$$

ここで、法線パラメータ空間は、平面パラメータ空間の  $\theta, \phi$  と同様の微小空間  $(\Delta\theta, \Delta\phi)$  で離散化され、2次元配列として法線パラメータ空間メモリ206上に構築される。

【0041】この処理の結果、法線パラメータ空間の各座標  $(\theta, \phi)$  の値は、時空間中に含まれる運動軌跡の接平面を法線方向ごとにみたときの接平面の強度分布に対応する値が格納される（図8(b)参照）。

【0042】交線検出部207は、法線方向検出部205の処理の結果得られた法線パラメータ空間を入力し、異なる法線方向をもつ複数の接平面の集合が作る交線の強度（交線をつくる接平面の強度の和）の分布を交線の方角を表す2つのパラメータ  $\alpha, \beta$  の関数として2次元配列状のメモリである直線パラメータ空間メモリ208に記憶させる（ステップ405）。

【0043】交線の表現方法として、例えば、図7のよ

を推定することができる。

【0034】ここで平面の表現法として、例えば、図5に示したような極座標表示を用いる。3次元空間中の点  $(x_i, y_i, t_i)$  を通る平面は3つのパラメータ  $(\theta, \phi, \rho)$  を用いて

【0035】

【数5】

$y_i, t_i)$  の値だけ増加させる。この処理を投票と呼び、運動軌跡時空間画像D中の全ての画素について行なう。その後、得られた平面パラメータ空間メモリ204中の各パラメータ  $(\theta, \phi, \rho)$  のセルの投票の合計値をパラメータ  $(\theta, \phi, \rho)$  をもつ運動軌跡の接平面の強度とする（図8(a)参照）。なお、この方法以外の方法も利用できる。

【0038】法線方向検出部205では、平面検出部203の処理の結果得られた平面パラメータ空間メモリ204の値を入力し、これから接平面の法線方向の分布を表す法線パラメータ空間を法線パラメータ空間メモリ206上に構築する（ステップ404）。

【0039】その一例として、平面パラメータ空間  $S_p$   $(\theta, \phi, \rho)$  について、全ての  $(\theta, \phi)$  について、 $\rho$  方向に探索し、投票の最大値を法線パラメータ空間の値  $S_N(\theta, \phi)$  とする。

【0040】

【数6】

$$\dots (13)$$

うな2つのパラメータ  $(\alpha, \beta)$  を用いる。図7において、直線の始点を原点  $(0, 0, 0)$  と考えたとき、 $\beta$  は直線が  $x-y$  平面（画像平面）となす角を、 $\alpha$  は直線を  $x-y$  平面に射影したときに  $x$  軸となす角をそれぞれ表す。ただし、 $0 \leq \alpha < 2\pi, 0 < \beta < \pi/2$  である。

【0044】ここで、3次元空間中の直線が平面パラメータ空間  $S_p(\theta, \phi, \rho)$  内ではどのように表されるかを考える。2点  $P_1(x_1, y_1, t_1), P_2(x_2, y_2, t_2)$  を通る直線は、点  $P_1(x_1, y_1, t_1), P_2(x_2, y_2, t_2)$  を与えたとき式(9)で表わされる平面パラメータ空間  $S_p$  中の曲面の交線として表される。この関係は式(9)を2点  $P_1, P_2$  について連立して解くことで次式のように表すことができる。

【0045】

【数7】

$$\phi = \tan^{-1} \frac{t_2 - t_1}{(x_1 - x_2) \cos \theta + (y_1 - y_2) \sin \theta} \quad \dots (14)$$

$$\rho = x_1 \cos \theta \sin \phi + y_1 \sin \theta \sin \phi + t_1 \cos \phi \quad \dots (15)$$

ただし、 $t_1 \neq t_2$  である。

【0046】この式(14)の関係は3次元空間中の直線の位置には不変であり、直線の方角のみに依存する。そこで、直線をその方向のパラメータ( $\alpha$ ,  $\beta$ )を用い

$$\phi = -\tan^{-1} \frac{\tan \beta}{\cos(\alpha - \theta)} \quad \dots (16)$$

と表すことができる。

【0048】この式(16)より、一つの直線、つまり直線パラメータ空間 $S_L(\alpha, \beta)$ 中の一点は法線パラメータ空間 $S_N(\theta, \phi)$ 中の一曲線となり、逆に、法線パラメータ空間 $S_N(\theta, \phi)$ 中の一点、つまり一平面は直線パラメータ空間 $S_L(\alpha, \beta)$ 中の一曲線となる(図8参照)。この曲線は、一平面上に含まれ得る一直線の分布を表す。よって、図8(c)のように、それぞれの接平面の法線の方角を与えたとき、直線パラメータ空間中に式(17)によって表される曲線の交点から接平面の交線の方角が得られる。

$$\beta = -\tan^{-1} \{ \tan \phi \cdot \cos(\alpha - \theta) \} \quad \dots (17)$$

により計算し、この式の曲線が通過する直線パラメータ空間メモリ中のセルの値を法線パラメータ空間 $P_N(\theta, \phi)$ の値だけ増加させる。この処理を全ての直線パラメータ空間メモリ中のセルについて行なったあと、方向( $\alpha$ ,  $\beta$ )をもつ運動軌跡の接平面の交線の強度が直線パラメータ空間 $S_L(\alpha, \beta)$ の値(投票の合計値)として得られ、これを交線パラメータ空間メモリ208に格納する。

【0053】なお、この方法以外の方法も利用可能である。

【0054】ピーク検出部209では、直線パラメータ空間メモリ208の値を入力し、直線パラメータ空間メモリ208中の投票の合計値のピークを探索し、ピークをもつ直線のパラメータ値

【0055】

【外3】

$$(\alpha_P, \beta_P) \\ V = \frac{1}{\tan \beta_P}$$

として計算することができる。

【0061】次に、本実施形態を実行した結果を従来法と比較し説明する。図9(a)のようなランダムに配置された円(半径4[ピクセル])が一様に下から上に2[ピクセル/フレーム]の速度で移動する画像を入力した(合計22フレーム)。ただし、画像中央に2つの

表現すると、式(14)は、

【0047】

【数8】

【0049】この処理の具体例として、投票(ハフ変換とも呼ぶ)を用いる方法が利用できる。

【0050】まず、直線パラメータ空間 $S_L(\alpha, \beta)$ を( $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\beta$ )の微小間隔で離散化し、2次元配列である直線パラメータ空間メモリ208として構築する。

【0051】次に、法線パラメータ空間 $P_N(\theta, \phi)$ 中の各点( $\theta$ ,  $\phi$ )について、その点が表す平面に含まれ得る直線の方角パラメータを、式(16)を $\alpha$ ,  $\beta$ の関係を表わすように変形した式

【0052】

【数9】

を出力とする(ステップ406)。

【0056】速度成分計算部210では、ピーク検出部209で検出された直線パラメータ空間中のピーク点【0057】

【外4】

$$(\alpha_P, \beta_P)$$

を入力し、フレーム間差分計算部201で入力された時系列画像中の対象の速度成分(方向と速度の大きさ)を計算する(ステップ407)。

【0058】求める方向は図7で説明した直線パラメータの定義から

【0059】

【外5】

$$\alpha_P$$

として、移動速度Vは

【0060】

【数10】

$$\dots (18)$$

遮蔽物を配置しているため、隠蔽(オクルージョン)が生じている。図9(b)はこの時系列画像に対して従来の相互相関法を用いて速度場を計算した結果を、3つのフレーム間につき示したものである。各点から延びる線はその点での速度ベクトルを表し、その方向は計算された移動方向を示し、その長さは速度に大きさに対応して

いる。ただし、相関係数を求める際の窓の大きさは $15 \times 15$  [ピクセル]とした。図9 (c)には、この従来法の結果を全てのフレーム間について平均した速度場を示す。

【0062】図9 (b)のように隠蔽の効果により遮蔽物との境界部分では正しい速度ベクトルが計算されていない。また、この結果を平均した図9 (c)においても、隠蔽の効果が積み重なることで、遮蔽物と周囲位置において正しい速度が計算されていないことがわかる。

【0063】図9 (d)には本実施形態の結果を示す。22フレームを使用し、一点での画像領域は $15 \times 15$  [ピクセル]である。このように、本実施形態では従来法のような隠蔽の影響を受けずに、正しい速度がほぼ全域で計算できることがわかる。

【0064】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、時系列画像中の任意の画像領域内、時間範囲内に含まれる対象物体の速度成分を、移動する対象物体が時空間中に描く運動軌跡に接する複数の接平面がなす交線の方角より決定するため、対象物体の生成、消滅、隠蔽（オクルージョン）や形状や濃淡変化などのロバストな時系列画像動き計測方法および装置を提供できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態の時系列画像動き計測装置の構成図である。

【図2】本実施形態の処理の全体を示すフローチャートである。

【図3】フレーム間差分を1次元の例で説明する図である。

【図4】時空間中での対象物体の移動を説明する図である。

【図5】時空間中の平面の極座標表現を説明する図である。

【図6】時空間中の1点を通り得る平面のパラメータの

分布の様子を示す図である。

【図7】時空間中の直線の表現方法を説明する図である。

【図8】パラメータ空間（同図 (a) は平面パラメータ空間、同図 (b) は法線パラメータ空間、同図 (c) は直線パラメータ空間）の様子を示す図である。

【図9】同図 (a) は入力画像、同図 (b) は従来方法で求めた速度場、同図 (c) は従来方法による全フレームの平均速度場、同図 (d) は本発明で求めた速度場を示す図である。

【図10】相互相関手法の処理の様子を示す図である。

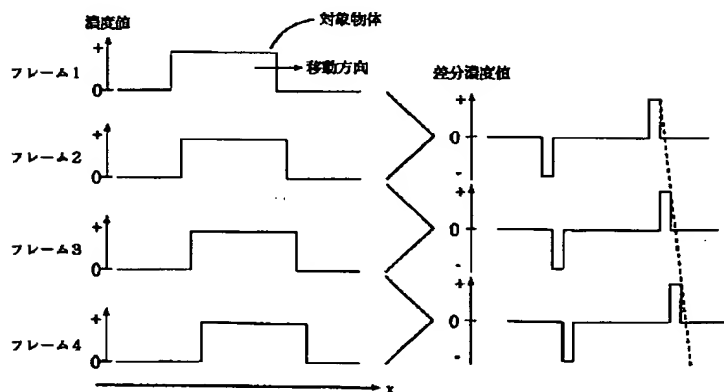
【図11】相互相関手法により求められた相関値分布の一例を示す図である。

【図12】相関値分布から二次補間により最大値をとる点 $k'$ を算出する方法を示す図である。

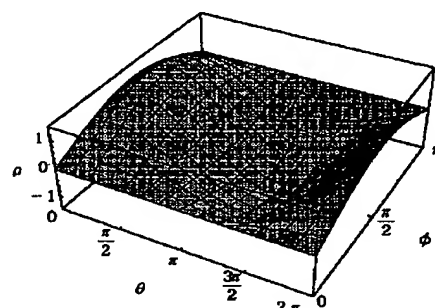
【符号の説明】

100	入力部
101	画像受信部
102	ファイル装置
200	処理部
201	運動軌跡抽出部
202	運動軌跡時空間画像メモリ
203	接平面検出部
204	平面パラメータ空間メモリ
205	法線方向検出部
206	法線パラメータ空間メモリ
207	交線検出部
208	直線パラメータ空間メモリ
209	ピーク検出部
210	速度成分計算部
300	出力部
301	ディスプレイ装置
302	ファイル装置
401～407	ステップ

【図3】

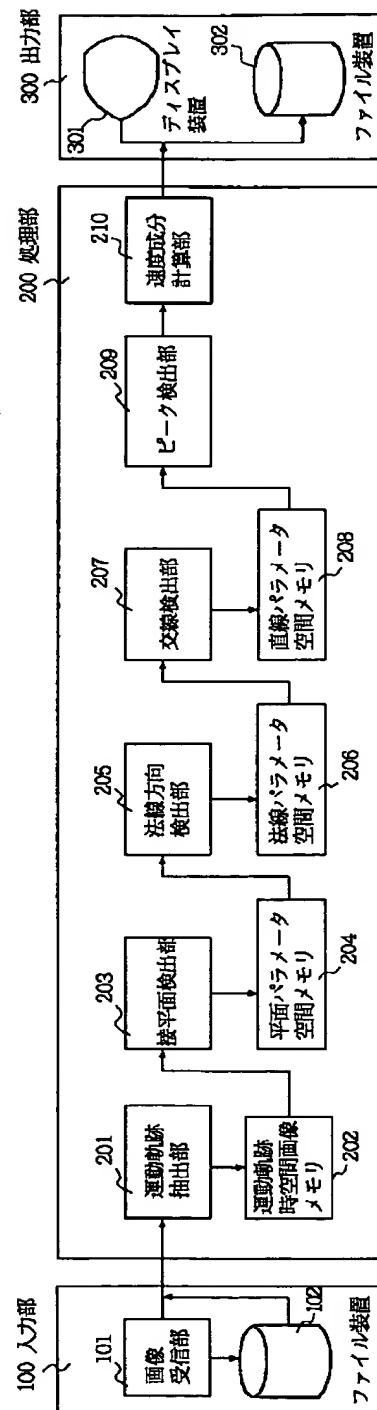


【図6】

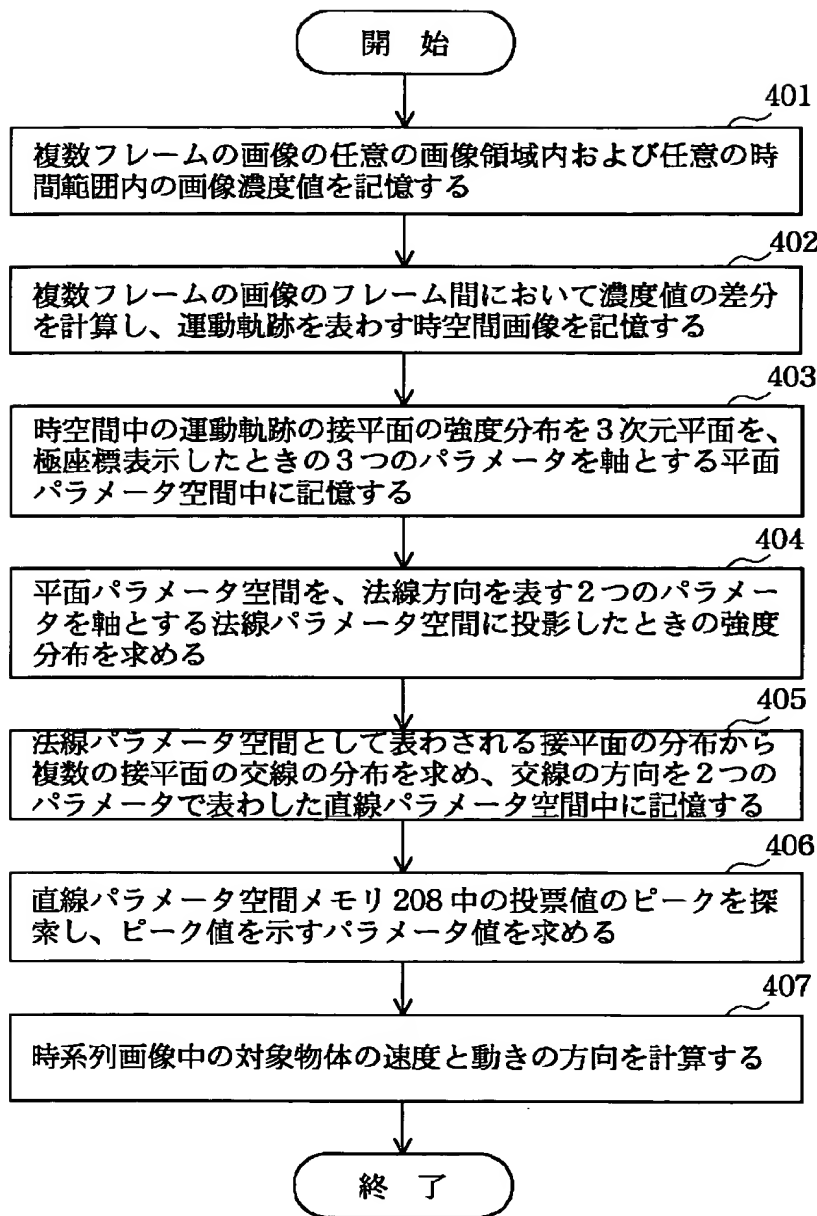




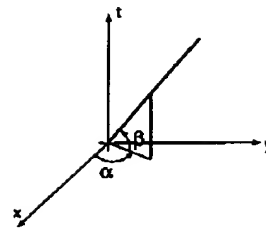
【図1】



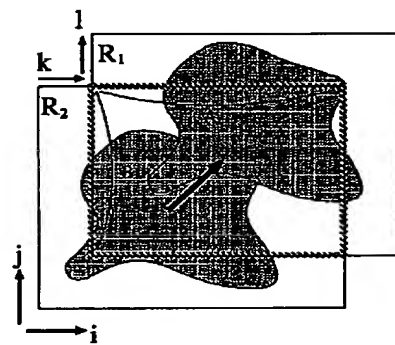
【図 2】



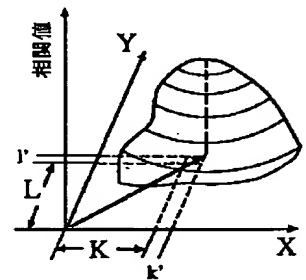
【図 7】



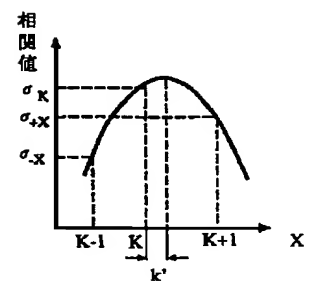
【図 10】



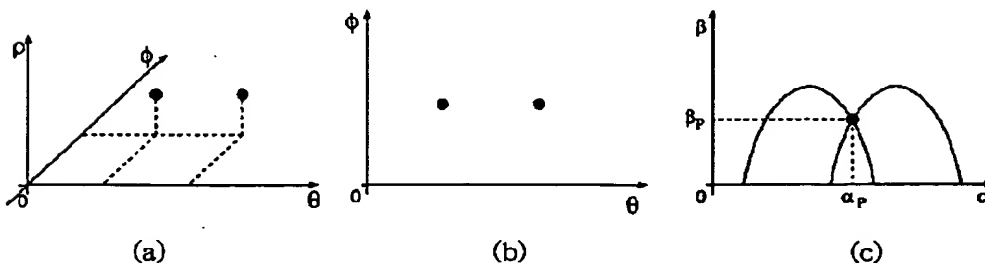
【図 11】



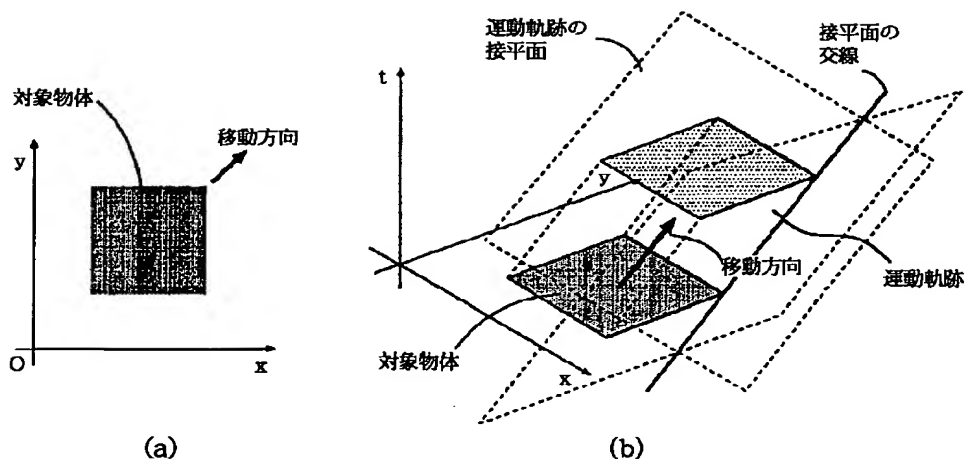
【図 12】



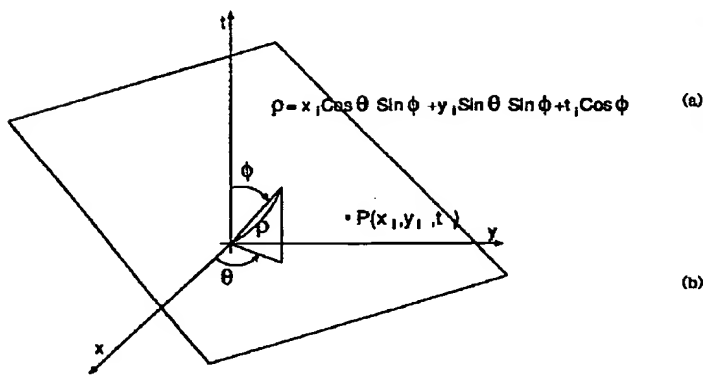
【図 8】



【図4】



【図5】



【図9】

